

УДК 621. 311: 621. 317. 613: 621. 316. 935: 621. 316. 923. 5

**В. І. Очередько, доцент, В. П. Калінчик, доцент, В. А. Побігайло, доцент, В. П. Розен, проф. (НТУУ «КПІ»)**

**РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
КОМПЛЕКСІВ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО  
ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ ВИРОБНИЧИХ  
СИСТЕМАХ**

**V. Ocheredko, assoc. prof., V. Kalinchyk, assoc. prof., V. Pobigailo, V. Rozen, prof. (NTUU «KPI»)**

**CALCULATION OF EFFICIENCY SYSTEMS LIMITATIONS SHORT-  
CIRCUIT IN THE ELECTRICITY SUPPLY MANUFACTURING SYSTEMS**

*Впервые предложен алгоритм определения экономической эффективности от внедрения системы ограничения токов короткого замыкания по схеме "реактор - управляемый шунт" в электроснабжающих производственных системах.*

**Ключевые слова:** Ток короткого замыкания, реактор, эффективность, ограничение, предохранитель, алгоритм, внедрение.

*Вперше запропоновано алгоритм визначення економічної ефективності від впровадження системи обмеження струмів короткого замикання за схемою „реактор – керований шунт” у електропостачальних виробничих системах.*

**Ключові слова:** Струм короткого замикання, реактор, ефективність, обмеження, запобіжник, впровадження.

*The algorithm for determining the cost-effectiveness of the introduction of restrictions of short circuit in a "reactor - controlled shunt" in the electricity supply production systems.*

**Keywords:** Short-circuit current, reactor, efficiency, limiting, fuse, algorithm, introduction.

**Вступ.** Зростання рівнів струмів короткого замикання (КЗ) висуває підвищені вимоги до електродинамічної і термічної стійкості елементів електротехнічних пристроїв енергетичних і виробничих систем, а також до комутаційної здатності електричних апаратів. В останні роки набули актуальності питання впливу струмів КЗ не тільки на тверді шини, кабелі та електричні апарати, але й на генератори, силові трансформатори і гнучкі провідники розподільних пристроїв.

З метою зменшення впливу струмів КЗ на електроустаткування використовуються різні методи і засоби їх обмеження. З урахуванням специфіки розвитку об'єднаних енергосистем, необхідності забезпечення стійкості та надійності їх роботи, а також техніко-економічних характеристик розробляються і досліджуються принципово нові засоби, які дозволяють обмежувати не тільки величину струму КЗ, але і його тривалість. Розв'язання зазначеної задачі можливе шляхом:

- підвищення швидкодії традиційної комутаційної апаратури;
- створення і використання нових швидкодіючих комутаційних апаратів, здатних безінерційно, тобто протягом першого напівперіоду, обмежити і відключити струм КЗ;
- використання безінерційних та інерційних струмообмежувальних пристроїв.

Проведено аналіз існуючих засобів і методів обмеження струмів короткого замикання (КЗ), він доводить, що, підвищуючи ефективність функціонування засобів обмеження струмів КЗ за допомогою використання їх комбінування – система „реактор – керований шунт” [1] можна знизити витрати, які пов'язані з обслуговуванням устаткування, унаслідок зменшення витрат у режимі очікування (час відсутності струмів КЗ), що надає можливість енергозбереження при обмеженні струмів КЗ у електропостачальній виробничій системі.

Принцип дії пристрою заснований на використанні теорії прийняття рішення, а саме, на порівнянні вимірюваного значення з еталонном і формуванні керуючого сигналу, що впливає на індуктивний опір. При певних умовах індуктивний опір зашунтовано (знаходиться у режимі очікування) або ні [2].

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є побудова алгоритму визначення ефективності функціонування засобів обмеження струмів КЗ у виробничих системах за рахунок оптимізації режимів їх функціонування.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- побудова алгоритму визначення економічної ефективності від впровадження комплексу «реактор – керований шунт»;
- побудова алгоритму роботи системи „реактор – керований шунт”.

**Визначення економічної ефективності.** Розглянемо алгоритм визначення економічної ефективності від встановлення системи „реактор – керований шунт”.

1. Річні витрати активної електроенергії в реакторі без використання керованого шунта (КШ), що обмежує струм КЗ, (на три фази) можна визначити за формулою [3]:

$$\Delta W_a = \left( \frac{I}{I_{p.ном}} \right)^2 \cdot \Delta P_{p.ном} \cdot T_p, \text{ де:}$$

$\Delta P_{p.ном}$  – втрати активної потужності в реакторі на три фази при номінальному навантаженні, кВт;  $I_{p.ном}$  - струм в реакторі при номінальному навантаженні, А;  $I$  - струм при номінальному навантаженні, А;  $T_p$  – час включення реактора в мережу, приймаємо  $T_p = 8760$ , грн/рік.

2. Оплата за втрати активної енергії в реакторі:

$$\Pi_{ai} = b \cdot \Delta W_a, \text{ де:}$$

$b$  – середній тариф на електроенергію, коп/кВт.год.

3. Річні втрати реактивної електроенергії в реакторі без використання КШ, що обмежує струм КЗ, (на три фази) можна визначити за формулою:

$$\Delta W_p = \left( \frac{I}{I_{p.ном}} \right)^2 \cdot \Delta Q_{p.ном} \cdot T_p, \text{ де:}$$

$\Delta Q_{p.ном}$  – втрати реактивної потужності в реакторі на три фази при номінальному навантаженні, квар.

4. Оплата за втрати реактивної електроенергії в одному реакторі можна визначити за формулою [4]:

$$\Pi_p = Db\Delta W_p, \text{ де:}$$

$D$  – економічний еквівалент реактивної потужності, кВт/квар.

5. Сумарна оплата за втрати в цілому по підприємству становить:

5.1. Сумарна оплата за втрати активної електроенергії в реакторах для окремого підприємства обчислюється за формулою:

$$\Pi_{a.\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Pi_{ai}, \text{ де:}$$

$n$  – кількість реакторів, що обмежують струм КЗ, на підприємстві;  $\Pi_{ai}$  – оплата за втрати активної електроенергії в  $i$  – му реакторі:

5.2. Сумарна оплата за втрати реактивної електроенергії в реакторах для окремого підприємства обчислюється за формулою:

$$\Pi_{p.\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Pi_{p.i}, \text{ де:}$$

$\Pi_{p.i}$  – розрахункове значення оплати за втрати реактивної електроенергії в  $i$  – му реакторі;  $n$  – кількість реакторів, що обмежують струм КЗ.

6. Сумарний економічний ефект від застосування КШ:

$$\Pi_{ек.\Sigma} = \Pi_{a.ек} + \Pi_{p.ек} + \Delta B - C - \Delta C, \text{ де:}$$

$\Pi_{a.ек}$  – економія плати за використану активну електроенергію;  $\Pi_{p.ек}$  – економія плати за використану реактивну електроенергію;  $C$  – вартість КШ (разові витрати);  $\Delta C$  – додаткові витрати на КШ;  $\Delta B$  - економічні витрати від шкідливих викідів в довкілля.

$$\Delta B = h(\Delta W_a + \Delta W_p), \text{ де:}$$

$h$  – питомі викиди твердих часток окису вуглицю, окисів азоту, окисів сірки.

7. Розраховуємо термін окупності капіталовкладень, що необхідні для придбання КШ, рік:

$$t_{OK} = \frac{C}{E_{\Sigma}}, \text{ де:}$$

$E_{\Sigma}$  - ефективність від впровадження КШ.

Вартість керованого шунта орієнтовано становить 800 грн. Термін окупності – від 0,9 до 1 року. При цьому термін експлуатації цього шунта становить до 6 років, що встановлює допустимість врахування фактичного часу, тобто без дисконтування. Дана методика не розрахована на обчислення комерційного ефекту, а служить для обчислення доцільності використання КШ.

Ефективність від впровадження КШ становить:

$$\Pi = \Pi_{a.ек} + \Pi_{p.ек} + \Delta B.$$

**Побудова алгоритму функціонування комплексу “реактор – керований шунт”.** Для рішення задачі підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів КЗ пропонується комплекс і спосіб керування обмеженням струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – керований шунт”, у якому включення і відключення індуктивного опору здійснюється автоматично при виникненні струму КЗ [4].

Принцип дії пристрою заснований на використанні теорії прийняття рішень, а саме, на порівнянні вимірюваного струму з еталонним і формуванні керуючого сигналу, що впливає на індуктивний опір. На рис. 1 представлена структурна схема пристрою обмеження струму КЗ. У розріз електричної мережі 1 включений індуктивний опір (реактор, що обмежує струм КЗ) 2, який зашунтовано комутаційним елементом 3. До електричної мережі підключений блок виміру 4, зв'язаний з аналізатором 5, керуючий вихід якого через пристрій 6 підключений до входу керування комутаційного елемента 3.

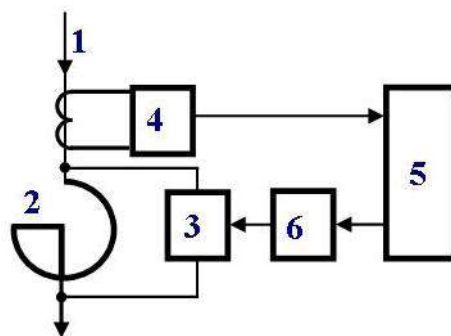


Рис. 1. Структурна схема пристрою обмеження струму КЗ.

Періодично через відрізки часу  $\Delta t$  ( $\Delta t = T/N$ , де  $T$  – інтервал контролю,  $N$  – число точок контролю) вимірюють величину фактичного струму електричної мережі  $I_{тф}$ . Визначають величину неузгодженості  $\Delta I_T$  між фактичним  $I_{тф}$  і заданим (еталонним)  $I_{те}$  струмом за контрольований інтервал часу  $T$

$$\Delta I_T = \sqrt{\sum_{t=1}^n (I_{тф} - I_{те})^2}, \text{ де:} \quad (1)$$

$I_{те}$  – величина, що враховує умови навантаження, яке виникає в момент пуску електродвигунів; визначається з виразу  $I_{те} = 1,8 I_{норм}$ .

У випадку, якщо  $\Delta I_T \geq \delta I$ , де величина  $\delta I$  (наприклад  $\delta I = 0,1$ ), встановлюється кроком дискретизації, формується керуючий вплив, що відключає комутуючий елемент.

У всіх інших випадках пристрій 6 формує сигнал керування для комутаційного елемента 3, що шунтує індуктивний опір 2. Після цього інформація з блоку виміру 4 знову надходить на аналізатор 5.

Алгоритм обмеження струму КЗ системою «реактор – керований шунт», наведено на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм роботи аналізатора

Запропонований спосіб обмеження струмів КЗ у ЕПВС та комплекс для його реалізації за схемою “реактор – керований шунт” повністю компенсує всі

недоліки, які мають місце при обмеженні струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – некерований шунт” [3]. Слід також зазначити, що обмеження струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – керований шунт” має певні переваги по відношенню до інших засобів обмеження струмів КЗ, зокрема:

- наявність подальшого розвитку та вдосконалення цієї системи обмеження струмів КЗ;
- швидкодія та надійність;
- дотримання вимог з енергозбереження;
- можливість збору та якісного використання статистичних даних по струмам КЗ у ЕПВС.

### **Висновки**

Надана методика розрахунку визначення економічної ефективності комплексу „реактор – керований шунт” використовувалась при оцінці енергозберігаючих заходів за даними Львів „ОРГРЕС”. Підтверджено наявність економічного ефекту від впровадження системи „реактор – керований шунт”. Вперше побудовано алгоритм роботи комплексу „реактор – керований шунт”.

### **Список використаних джерел**

1. Rosen V., Taradai V., Nesen L., Pobigaylo V. Analysis approaches the problem of limiting short-circuit currents in the industrial and energy systems / IEE NTGU "KPI" . - Kiev.: 1999. - 18 . - Eng . - Dep. GNTB in Ukraine 26.07.99, № 225 Uk99 // Nanoteau. in VINITI number 10 ( 333), 1999.
2. Pat. Ukraine, 51346 A N01F38/00 H01F30/08. The method of limiting short-circuit currents and device for its implementation / Rosen V., Kalinchyk V., Momot D., Pobigaylo V. Number 2002021620. Appl. 27.02.2002. Publish. 15.11.2002. Bull. Number 11. - 6 p.
3. Motrani Larbi, Taraday V. Efficiency saving in electric networks 6-20 kV with current limiting reactors // Energy and electrician. - 2000. - № 7. - Pp. 13 - 16.
4. "Methods of calculating payment for reactive power flow between elektroperedavalnoyu organization and its customers" Approved by the Ministry of Fuel and Energy of 17.01.2002, № 43, registered at the Ministry of Justice of Ukraine 01.02.2002, № 93/ 6381. - Kyiv.: - 2002. - 50 p.

*Стаття надійшла до редакції 17.04.2014 р.*